

ELIMINACIÓN DE SÍLICE Y REDUCCIÓN DE ALCALINIDAD (COMO CARBONATOS) DE AGUAS DE POZO Y DE RECHAZO DE SISTEMAS DE ÓSMOSIS INVERSA MEDIANTE PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN.

Seijas C. J.^{1,2}, Bianchi G. L.^{1,3}, Gassa L. M.⁴, Bolzan A. E.⁴

1. Grupo Innovación Energética y Ambiental, Instituto Malvinas, Facultad de Ingeniería UNLP, Diagonal 80 N° 372, La Plata (1900), Bs. As., Argentina. E-mail: carlosjseijas@gmail.com
2. WET Argentina S.A. Av. Sucre 2477, Béccar (1643), Bs. As., Argentina.
3. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.
4. Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA), CONICET - UNLP Diagonal 113 y 64 S/N La Plata (1900), Bs. As., Argentina.

INTRODUCCIÓN

La presencia de sílice y carbonatos ocasiona depósitos que afectan el rendimiento y la vida útil de cañerías y equipos en las plantas industriales, generando importantes pérdidas económicas por procesos de mantenimiento y paradas de las mismas. Es por ello que el agua extraída de pozos y empleada en los circuitos de refrigeración es comúnmente tratada mediante procesos de ósmosis inversa para aumentar sensiblemente su pureza. En este trabajo se estudió la optimización de las condiciones operativas de la técnica de electrocoagulación para: i) el tratamiento del agua de pozo, previo a la ósmosis inversa, con el objeto de aumentar la eficiencia y la vida útil de las membranas; ii) el tratamiento de agua de rechazo de la ósmosis inversa, de forma tal de poder recircular ese caudal, que actualmente se pierde, y aumentar entonces la eficiencia del circuito. El proceso de electrocoagulación implica la generación in situ de iones Al^{+3} , por electrodisolución de un ánodo de aluminio de alta pureza bajo condiciones de corriente constante.

Objetivos

Tratamiento de agua de pozo por métodos electroquímicos que sustituya la coagulación/floculación química convencional y/o el empleo de ósmosis inversa, para obtener agua de proceso para industrias que requieren alto grado de pureza en el agua con el fin de evitar deterioro e incrustaciones en cañerías y equipos.

Tratamiento de agua de rechazo de ósmosis inversa (empleadas en industrias que requieren agua de alta pureza en sus procesos), para disminuir la concentración de sales (entre éstas, sílice y carbonatos) que permitan el vertido final en especificación de este efluente, o para recircularlo por el tratamiento de ósmosis inversa disminuyendo el consumo diario de agua, lo cual genera un impacto ambiental positivo así como un ahorro económico para las empresas.

Materiales y equipos

Los ensayos se realizaron a escala laboratorio empleando un vaso cilíndrico de vidrio borosilicato de 1000 mL, con un volumen de trabajo de 900 mL. Se usaron electrodos de aluminio de alta pureza (Grado 1050), de dimensiones 140 x 60 mm, siendo el área sumergida total de 14400 mm². Se empleó un buzo magnético para generar turbulencia en la solución. Para el suministro de corriente constante se empleó una fuente Keithley 2260B-30-72.

Las muestras ensayadas fueron tomadas de pozos y rechazos de ósmosis inversa de industrias ubicadas en el noroeste de la provincia de Buenos Aires. Las características de estas muestras se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Caracterización de las muestras de agua empleadas en los ensayos de laboratorio.

	pH	Conductividad [μS/cm]	Turbidez [NTU]	Alcalinidad [mg/L]	Sílice [mg/L]
Agua de pozo	7,8	1060	0,46	507	62,4
Rechazo ósmosis inversa	7,8	1938	0,39	963	91,3

El ajuste de pH se realizó con HCl 6N y la medición de pH se hizo con un pHmetro Thermo Orion Dual Star.

La medición de Sílice se realizó con el método del molibdosilicato (4500-Si APHA, AWWA, WPCF); la del aluminio con el método de eriocromocianina R (3500D-Al APHA, AWWA, WPCF); el de la alcalinidad (como carbonatos) con el kit de titulación Hanna HI3811; y la turbidez con un turbidímetro Hach 2100Q.

RESULTADOS Y DISCUSION

La etapa de electrocoagulación en la celda electroquímica se llevó a cabo empleando una corriente constante de 1000 mA, con agitación magnética para favorecer el mezclado y separación entre electrodos de 15 mm, durante diferentes tiempos de proceso que variaron desde 2 a 10 minutos. Luego se procedió al ajuste de pH con HCl 6N, se dejó decantar el sólido durante 30 minutos y se procedió a determinar la turbidez y la concentración de sílice, de aluminio y de carbonatos finales en el sobrenadante. A partir de estas mediciones (Fig. 1 y 2), se encontró que para ambos tipos de muestras, las mejores condiciones operativas del proceso se encuentran para tiempos de electrocoagulación de 8 – 10 minutos, ajustando posteriormente el pH a 6,0, ya que en estas condiciones se obtuvieron flocs de rápida formación y buena consistencia, y una importante disminución de la concentración de sílice y de carbonatos, obteniéndose también los sobrenadantes menos turbios. Para el agua de pozo, la concentración de sílice disminuye entre 70 – 76 % y los carbonatos disminuyen entre 65 – 80 %. Para el agua de rechazo de ósmosis inversa la concentración de sílice disminuye entre 30 – 45% y la alcalinidad disminuye 65%. En estas condiciones operativas, ambos sobrenadantes presentaron baja turbidez final (<3 NTU) y la concentración de Al^{+3} remanente fue también muy baja (< 0,2 mg/L). Considerando que la normativa nacional indica que un efluente puede contener máximo 2 mg/L de aluminio en solución antes del vertido final, se obtuvo un excelente aprovechamiento del aluminio generado electroquímicamente. Los ensayos fueron realizados por triplicado y los resultados que se presentan en las Fig. 2 y 3, corresponden a los valores promediados.

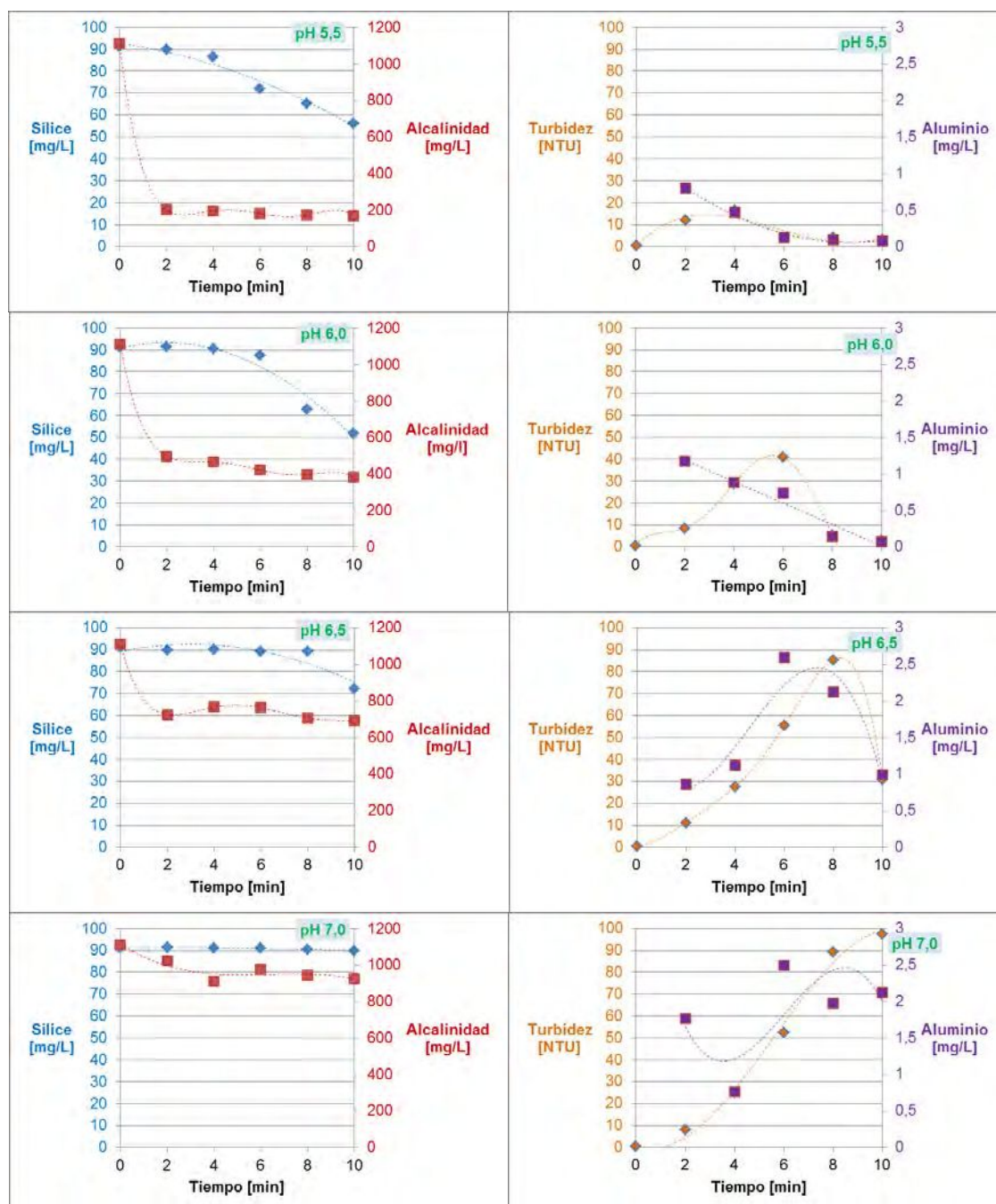


Fig. 1. Resultados obtenidos del proceso de electrocoagulación y floculación en agua de rechazo de ósmosis inversa.

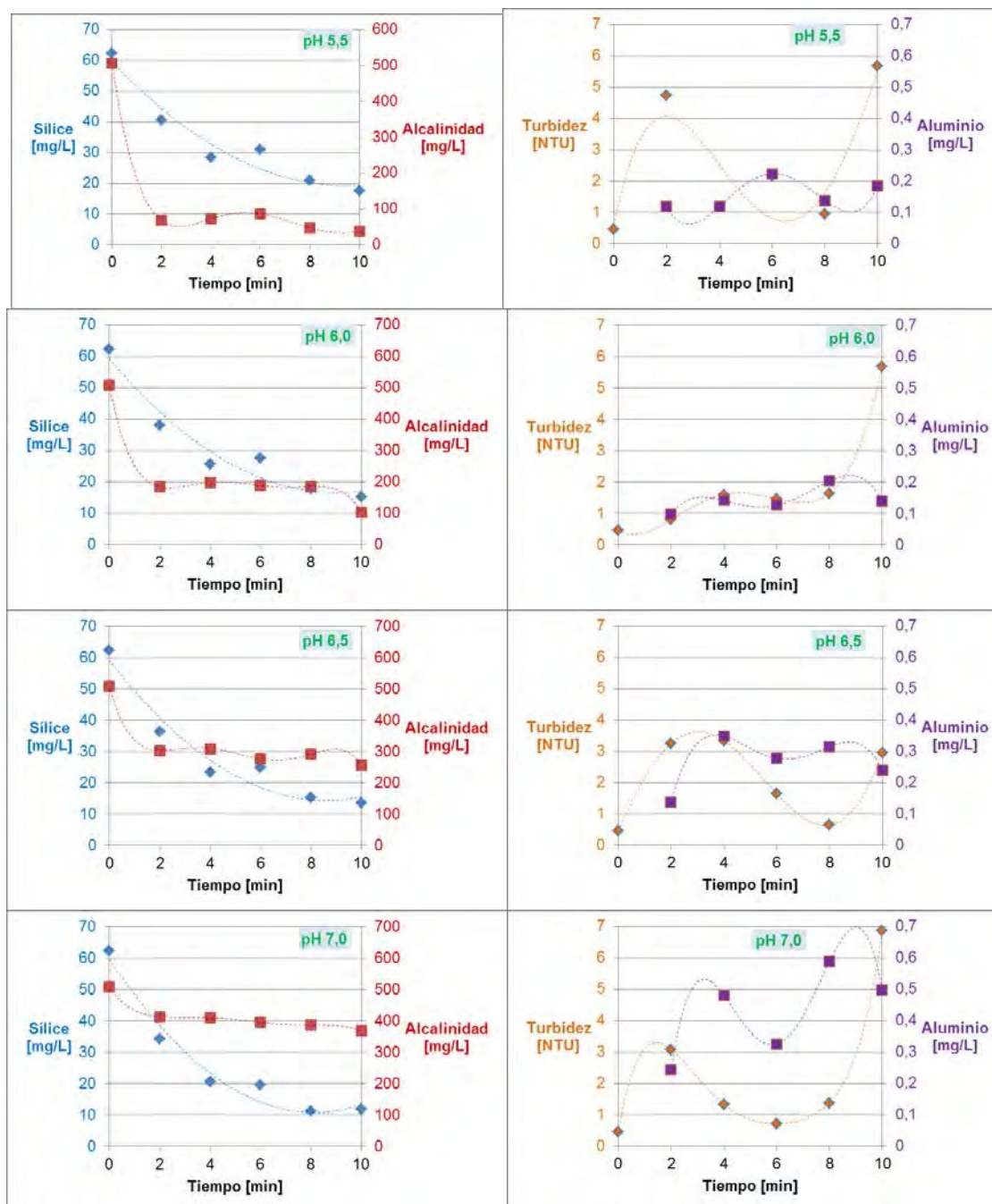


Fig. 2. Resultados obtenidos del proceso de electrocoagulación y floculación en agua de pozo.

Los sólidos obtenidos de la floculación a pH 6 fueron filtrados y secados en estufa a 60°C. Luego se observaron en un microscopio de barrido electrónico (MEB) y se les realizó un análisis por EDAX (Fig. 3). Se comprobó la formación de estructuras cristalinas cuyo análisis químico en la superficie indicó que se trataban de óxidos de aluminio y de sílice, lo que correspondería a feldespatos de estructuras conocidas como albitas ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$). Este tipo de estructuras no pudo ser verificado con la técnica de difracción de rayos X (DRX) debido a que el contenido de sólidos secos obtenidos en los ensayos no superaba el umbral mínimo de masa necesario para que el método de DRX indicara resultados.

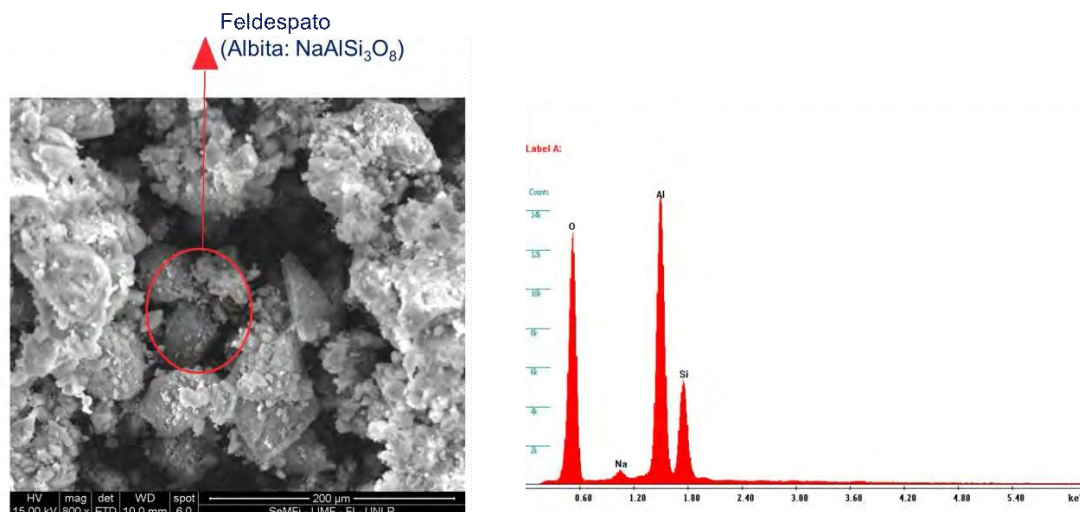


Fig. 3. A la izquierda, imagen obtenida en un MEB de la estructura superficial del floc formado a pH 6,0. A la derecha, composición química de esos sólidos obtenida con un EDAX.

Por otro lado, se realizaron ensayos agregando 10 mg/L de polímeros catiónicos y aniónicos, de alto peso molecular. Se observó que favorecen la formación del floc, dándole mayor volumen y rapidez en la formación, lo que permite disminuir el tiempo de la etapa de floculación, sin afectar las características finales del sobrenadante.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos, la electrocoagulación se presenta como una alternativa interesante para el tratamiento de aguas de pozo y de rechazo de ósmosis inversa, respecto de los métodos tradicionales tales como la coagulación química, la cual requiere un continuo suministro de reactivos, generando grandes cantidades de lodo, que deben ser sometidos a otro tratamiento para su deposición final.

Se presenta como una tecnología versátil, de bajos tiempos de proceso y baja corriente eléctrica suministrada, donde sólo se requiere el cambio del ánodo consumible de aluminio y, de ser necesario, el agregado de ácido para el ajuste del pH óptimo del proceso y de un floculante polimérico de alto peso molecular si se busca acelerar la etapa de floculación.

La generación in situ de Al^{+3} por medio electroquímico produce la formación de feldespato, cuya estructura es la albita ($NaAlSi_3O_8$). En dicha arcilla es donde se produce la adsorción de los demás sólidos suspendidos en solución.

Bibliografía

- Villegas Mendoza I.E., 2011. Influencia de parámetros hidráulicos y fisicoquímicos en la eficiencia de remoción de sílice mediante un sistema de electrocoagulación. Tesis de maestría en Ingeniería Ambiental. UNAM.
- Den W., Wang C., 2008. Removal of silica from brackish water by electrocoagulation pretreatment to prevent fouling of reverse osmosis membranes. *Separation and Purification Technology* 59, 318-325.
- Kuokkanen V. 2016. Utilization of electrocoagulation for water and wastewater treatment and nutrient recovery. Tesis doctoral. ActaUniversitatis Ouluensis.
- Cañizares P., Carmona M., Lobato J., Matínez F., Rodrigo M., 2005. Electrodissolution of aluminum electrodes in electrocoagulation Processes. *American Chemical Society*. 4178-4185.

- Pouet, M.F., Persin, F., 1992. Intensive treatment by electrocoagulation-flotation tangential flow microfiltration in areas of high seasonal population. *Water Sci. Technol.* 25 (12), 247–253.
- Lai, C.L., Lin, S.H., 2004. Treatment of chemical mechanical polishing wastewater by electrocoagulation: system performances and sludge settling characteristics. *Chemosphere* 54 (3), 235–242.
- Vik, E.A., Carlson, D.A., Eikum, A.S., Gjessing, E.T., 1984. Electrocoagulation of potable water. *Water Res.* 18 (11), 1355–1360.
- Jiang, J.Q., Graham, N., Andre, C., Kelsall, G.H., Brandon, N., 2002. Laboratory study of electro-coagulation-flotation for water treatment. *Water Res.* 36 (16), 4064–4078.
- Holt, P.K., Barton, G.W., Mitchell, C.A., 2004. Deciphering the science behind electrocoagulation to remove clay particles from water. *Water Sci. Technol.* 50 (12), 177–184.